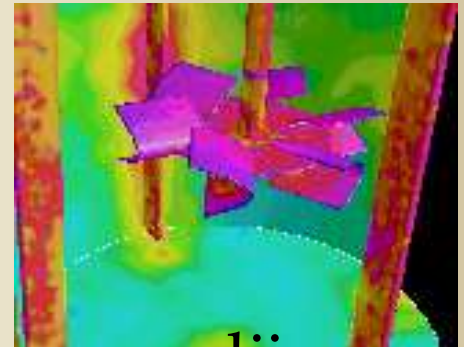


MEŠANJE*



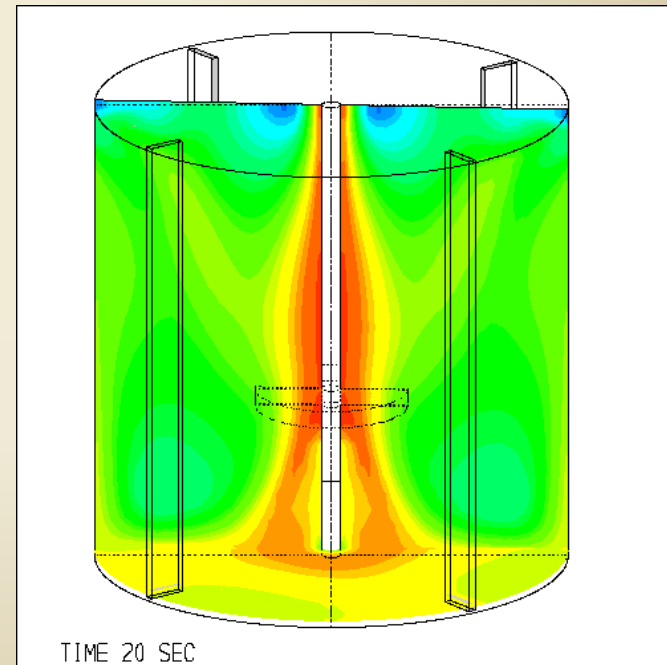
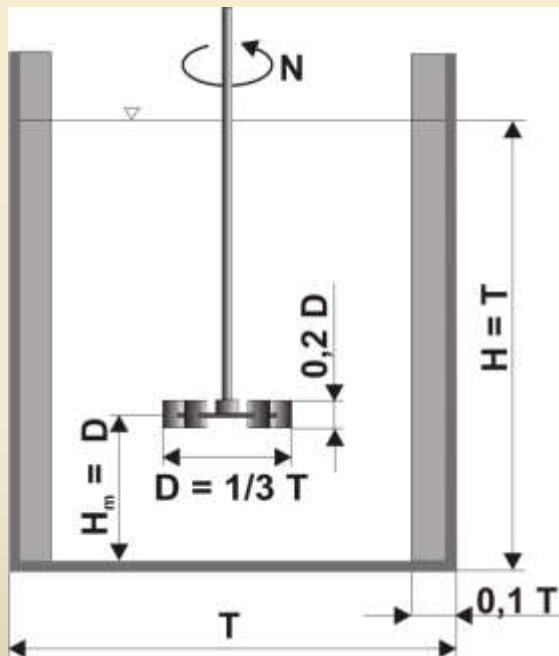
Hidrodinamska operacija:

- ▣ doseganje enotne sestave in temperature medija
- ▣ pospešitev prenosa hranil in metabolnih produktov
- ▣ hitrejši prenos toplote
- ▣ suspendiranje trdnih delcev
- ▣ dispergiranje tekočine v tekočini (dodatki protipenilca)

ter pri aerobnih procesih:

- ▣ dispergiranje plinske faze v tekočini
- ▣ pospešitev prenosa kisika iz mehurčkov v tekočino

STC KONFIGURACIJA MEŠALNEGA REAKTORJA brez prezračevanja

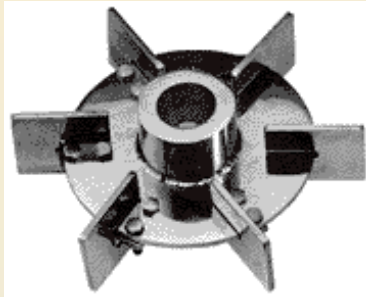


pregrade: preprečujejo tvorbo lijaka

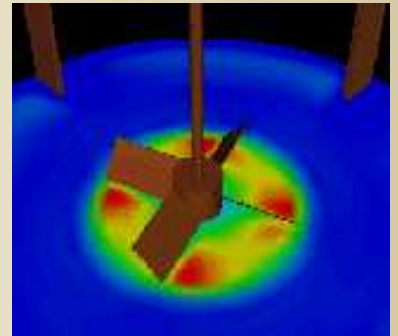
MEŠALA

- ▣ diskaste turbine (visoke strižne sile)

Rushtonova
turbina



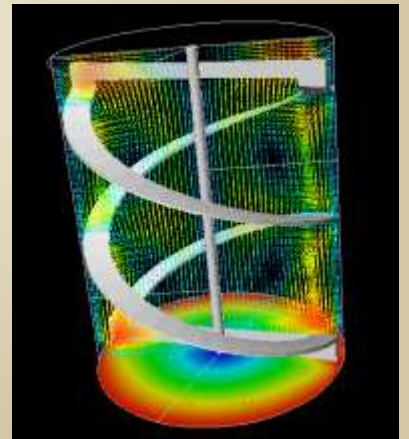
turbina z
nagnjenimi
lopatnicami



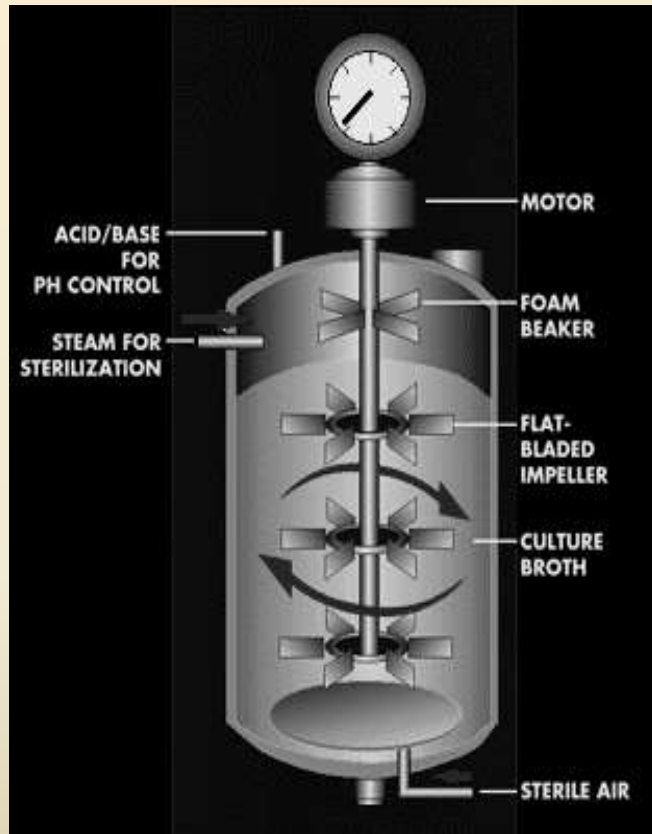
- ▣ propeler



- ▣ vijačno
mešalo

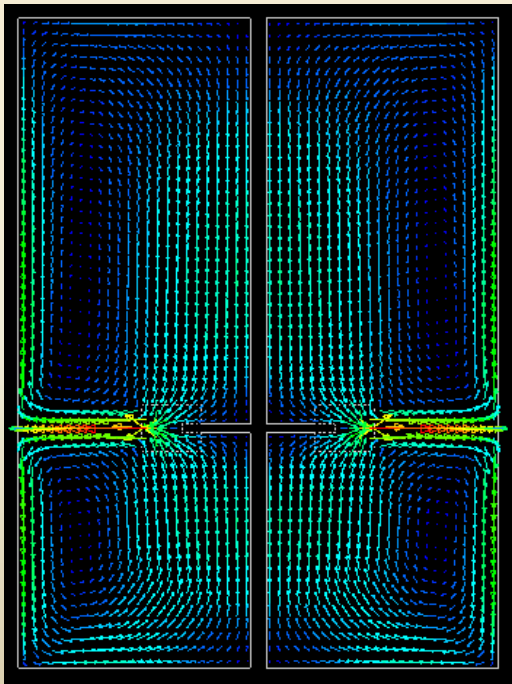


MEŠALNI BIOREAKTOR

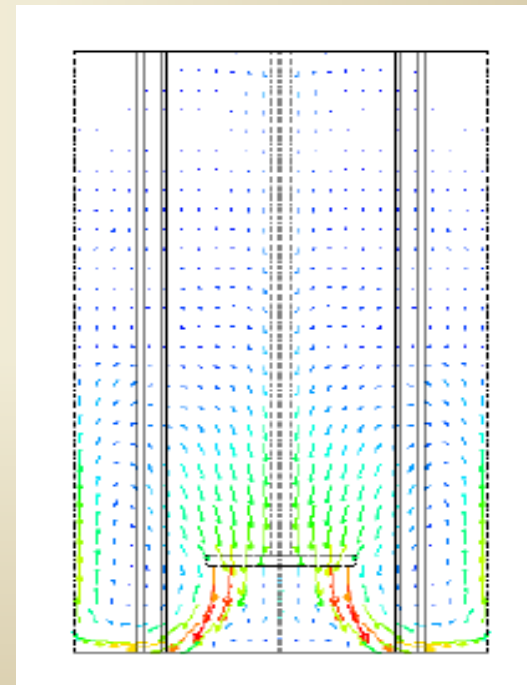


TOKOVNI PROFIL

- ▣ radialni tok kapljevine
 - Rushtonova turbina



- ▣ aksialni tok kapljevine
 - propeler



NAČRTOVANJE MEŠANJA

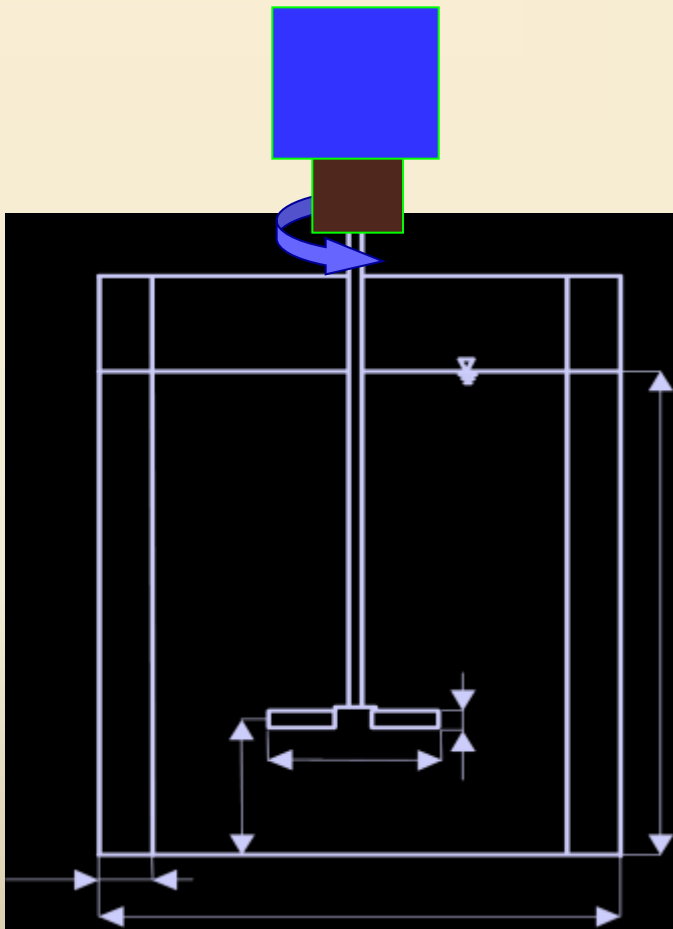
- ▣ izbor ustreznega mešala
- ▣ pogoji mešanja:
 - majhna poraba energije za učinkovito mešanje

$$E = P \cdot t_m$$

moč za mešanje

čas pomešanja

Mešanje



Glede na agregatna stanja

S stališča moči

Časov pomešanja

Tokovni modeli

Mehansko mešanje:

Zunanja sila premaguje napetosti v sami kapljevini

$$P = M \cdot \omega = (F \cdot R) \cdot (2 \cdot \pi \cdot N)$$

P: moč (W)

M: navor ($\text{kgm}^2/\text{s}^2 = \text{Nm}$)

ω : kotna hitrost (s^{-1})

N: vrtilna hitrost mešala (s^{-1})

F: sila (N)

R: ročica (m)

DIMENZIONIRANJE MEŠALNIKOV

- Povečevanje mešalnikov glede na moč
brezdimenzijsko število:
število moči $P_0 = \text{konst.}$
- Povečevanje glede na rezultat mešanja
 - enak volumski vnos moči: $P/V = \text{konst.},$
 - enaka obodna hitrost : $ND = \text{konst.},$
 - enako Reynoldsovo št.: $Re = \text{konst.}$

ČAS POMEŠANJA t_m

- ▣ čas, ki je potreben, da dosežemo določeno stopnjo homogenosti
- ▣ odvisen od naših zahtev pomešanja in od natančnosti določitve homogenosti medija
- ▣ lokalna nehomogenost:

$$i = \left| \frac{C_\infty - C(t)}{C_\infty - C_0} \right|$$

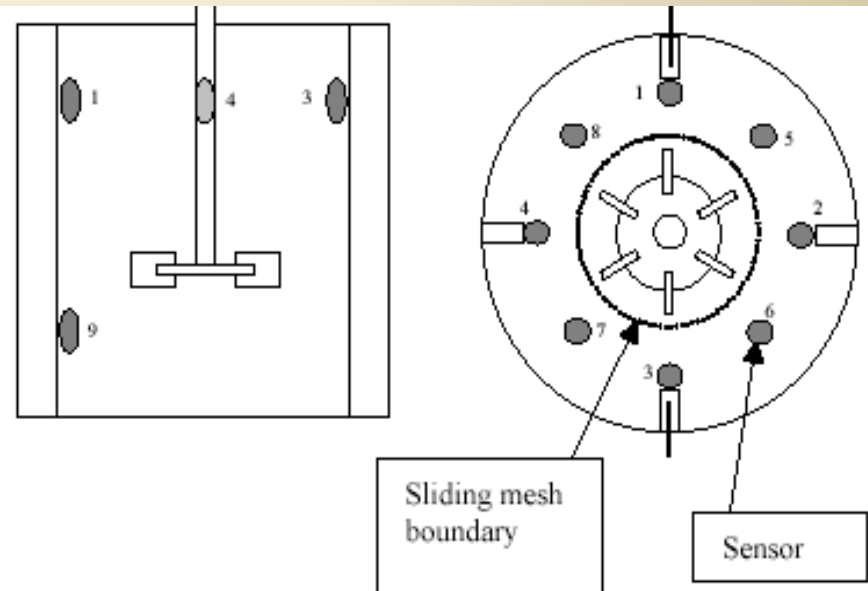
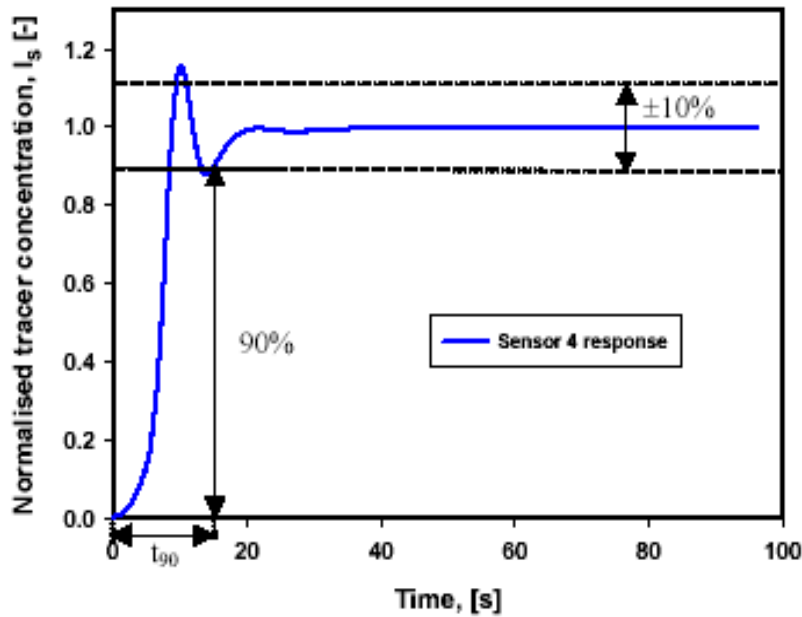
$t = 0$: največja nehomogenost, $i = 1$

$t = \odot$: doseženo ravnotežje, $i = 0$

Čase pomešanja običajno določimo pri 90-99% homogenosti
($0,1 \approx i \approx 0,01$)

DOLOČANJE t_m

pulzni vnos inertnega sledilca in spremljanje odziva sistema



$i = 0,1$ (90% homogenost)

t_m odvisen od mesta vnosa sledilca in lokacije senzorja

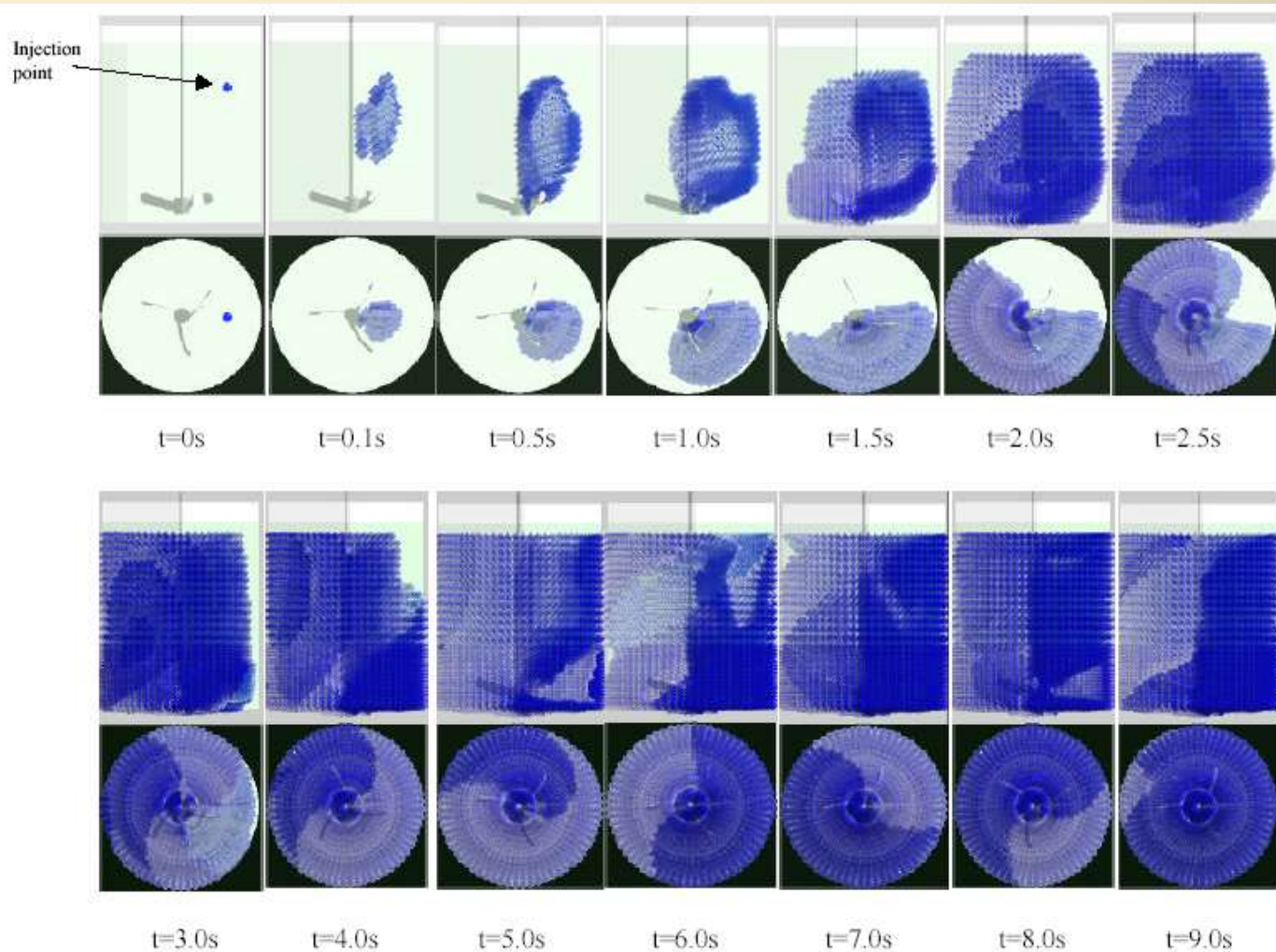
METODE DOLOČANJA t_m

- ▣ električna prevodnost
- ▣ pH
- ▣ temperatura
- ▣ fluorescenca
- ▣ magnetne lastnosti
- ▣ radioaktivnost
- ▣ obarvanje ali razbarvanje medija
(omogoča vizualizacijo mirujočih con)

DOLOČANJE t_m



DOLOČANJE t_m



ČAS POMEŠANJA t_m

- ▣ odvisen od velikosti in geometrije sistema, intenzivnosti mešanja in lastnosti medija

$$t_m = f(N, D, \rho, \eta) = f(Re)$$

vrtilna
hitrost
[s⁻¹]

premer
mešala
[m]

gostota
medija
[kg/m³]

dinamična
viskoznost
[Pa s]

Reološke lastnosti tekočin

- ▣ newtonske tekočine:

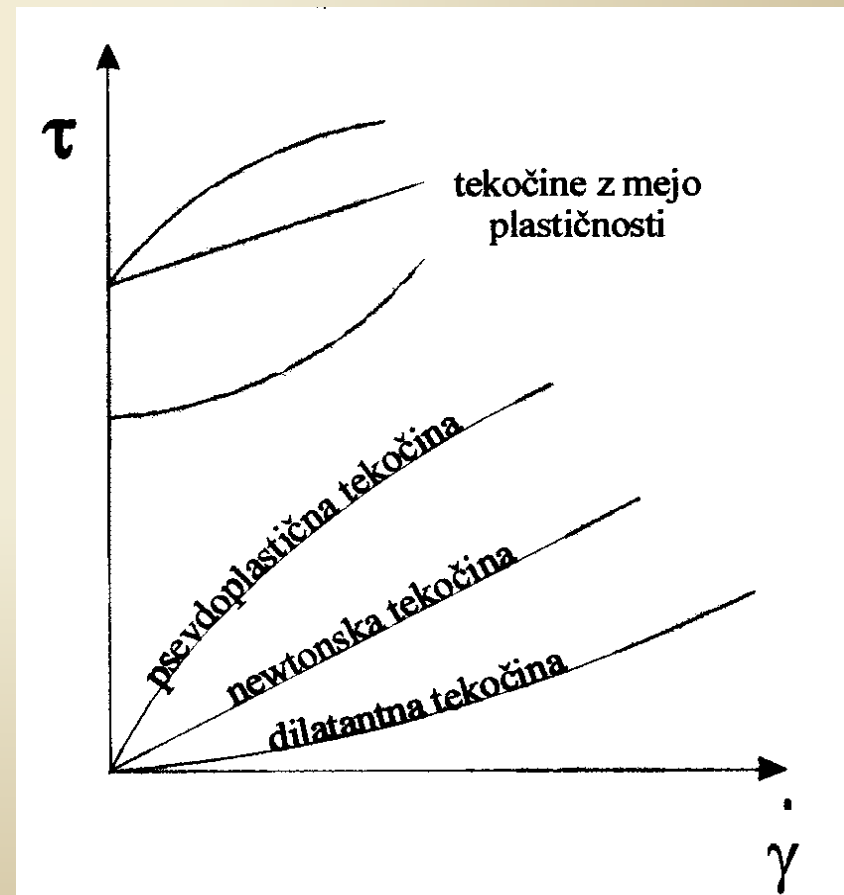
Newtonov zakon:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

stržna napetost [Pa]

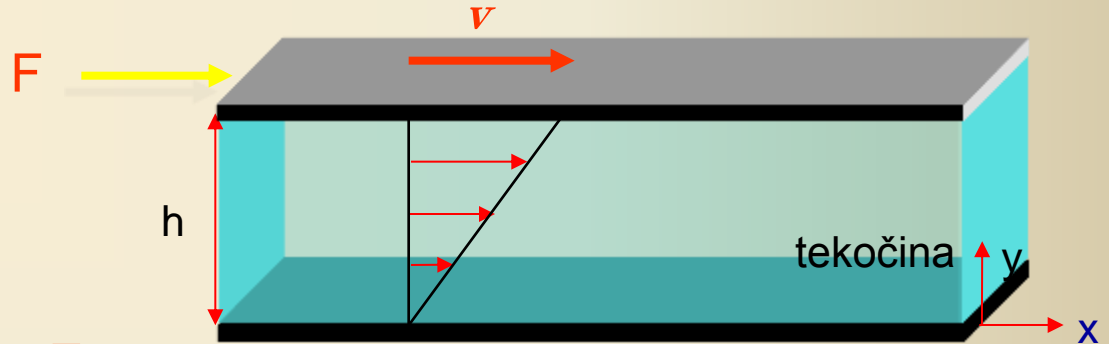
dinamična viskoznost [Pa s]

stržna hitrost [s⁻¹]



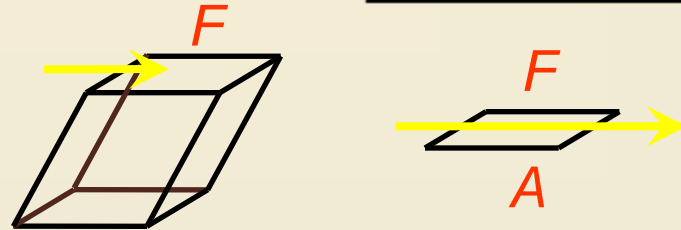
Osnovne definicije

enostavni strig:



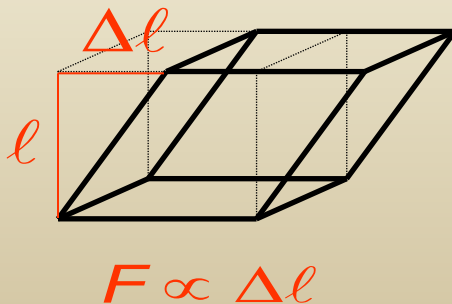
strižna napetost:

$$\tau = \frac{F}{A}$$



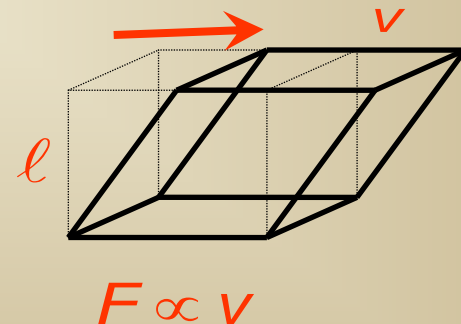
strižna deformacija:

$$\gamma = \frac{\Delta l}{l}$$



strižna hitrost:

$$\dot{\gamma} = \frac{dv_y}{dx}$$



neneewtonske tekočine

- Ostwald - de Waelejev (potenčni) model:

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad \text{in} \quad \eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = K \dot{\gamma}^{n-1}$$

K – indeks konsistence
[Pa sⁿ],

n – indeks tokovnega
obnašanja [-]

η_a - navidezna viskoznost
[Pa s]

- Izračun povprečne strižne hitrosti:

$$n < 1: \quad \dot{\gamma} = k_s N \quad (\text{Metzner \& Otto, 1957})$$

k_s - brezdimenzijska konstanta strižne hitrosti mešala
Rushtonova turbina: $k_s = 11,8$, propeler: $k_s = 10$

Reynoldsovo število

- ▣ newtonske tekočine:

$$\text{Re} = \frac{\rho N D^2}{\eta}$$

- ▣ nenewtonske tekočine:

$$\text{Re} = \frac{\rho N^{2-n} D^2}{K k_s^{n-1}}$$

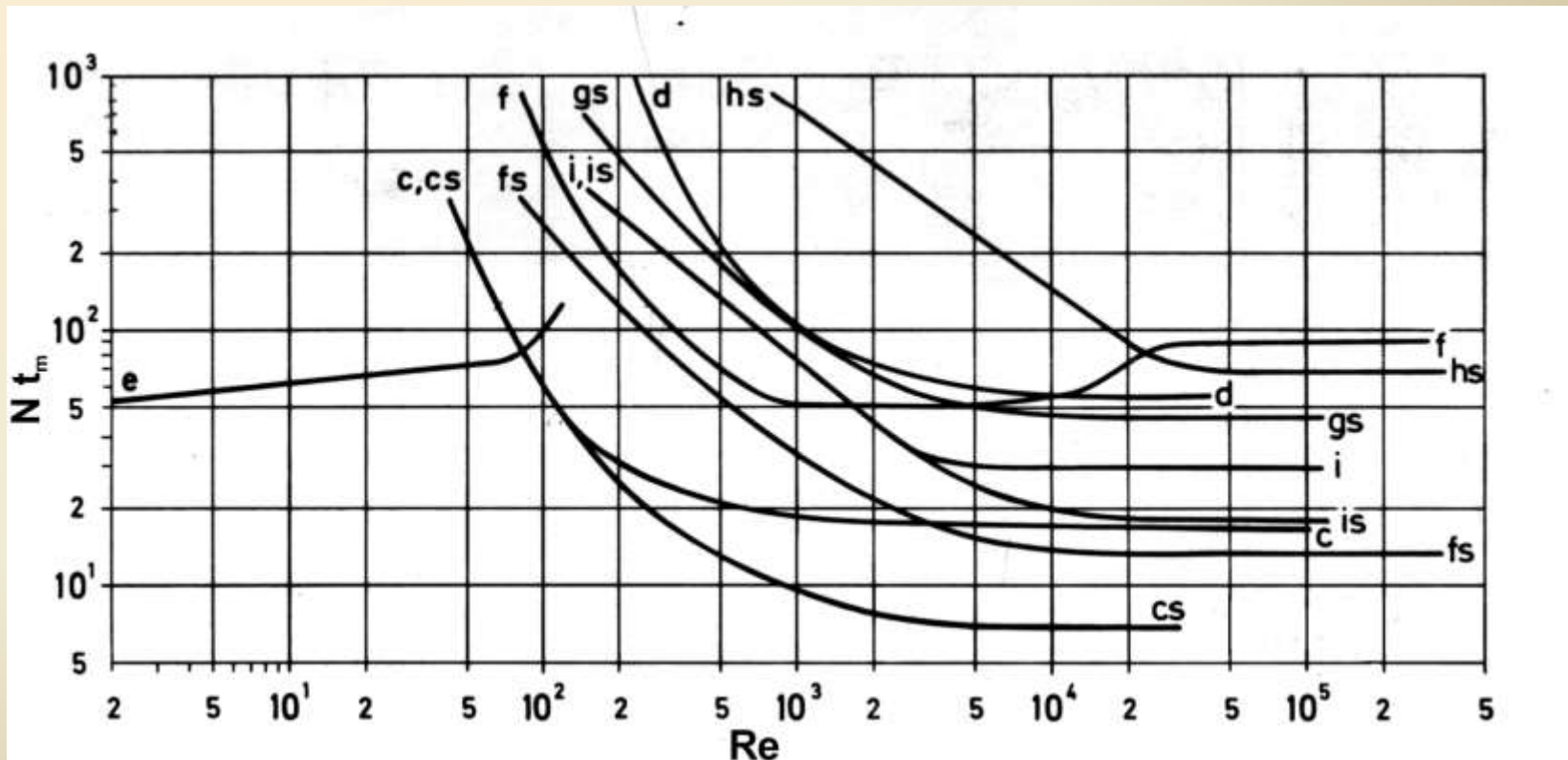
Brezdimenzijski čas pomešanja

- ▣ Produkt časa pomešanja in vrtilne hitrosti mešala:

$$N \cdot t_m$$

- ▣ V turbulentnem območju konstanten in neodvisen od velikosti reaktorja
 - laminarni tok: $Re \leq 1$
 - turbulentni tok: $Re > 10^4$
 - prehodno območje: $10 < Re < 10^4$

Brezdimenzijski čas pomešanja



hs – propelersko m.

gs – turbinsko m.

c, cs – lopatasto m.

e – tračno m.

i, is – impelersko m.

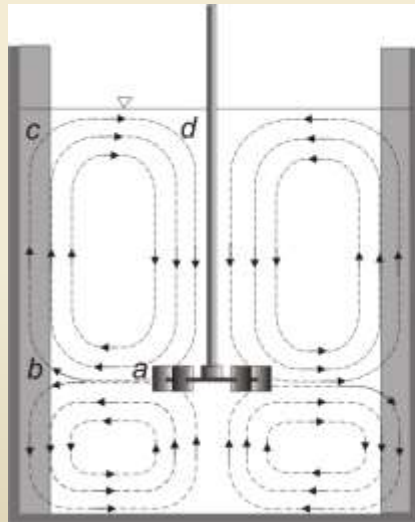
d – sidrno m.

f, fs – protitočno (MIG) mešalo

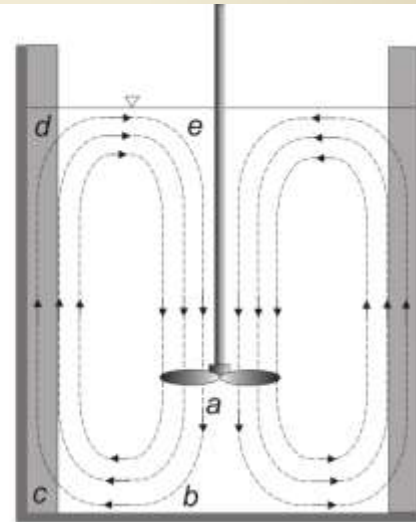
OCENE ČASA POMEŠANJA

- ▣ Iz teorije kroženja tekočine (velja le v turbulentnem območju)
 - t_{cir} sorazmeren najdaljši poti kroženja

Rushtonova
turbina



propeler



- t_{cir} obratno sorazmeren v_{cir} in torej $N \cdot D$
- $t_m = 5 t_{\text{cir}}$

OCENE ČASA POMEŠANJA

▣ Korelacije:

- za Rushtonovo turbino:

$$N t_m = 1,88 \left(\frac{a H + T}{T} \right) \left(\frac{T}{D} \right)^{\frac{13}{6}}$$

- za propeler z usmerjanjem toka navzdol:

$$N t_m = 6,0 \left(\frac{2 H}{D} + \frac{T}{D} \right) \left(\frac{H_m}{D} \right)$$

VNOS MOČI

- ▣ neprezračevan sistem:

$$P = P_o \rho N^3 D^5$$

gravitacijske sile

ŠTEVILO MOČI: $P_o = f(Re, Fr, We)$

pregrade, enofazni sistem: $P_o = f(Re)$

površinske
sile

Dimenzijska analiza

Število moči

$$P_0 = f(\text{Re}, \text{Fr}, \text{We}) \longrightarrow P_0 = f(\text{Re})$$

Reynoldsovo število

$$\text{Re} = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta}$$

sile vstrajnosti /
sile viskoznosti

Froudovo število

sile vstrajnosti / gravitacijske sile

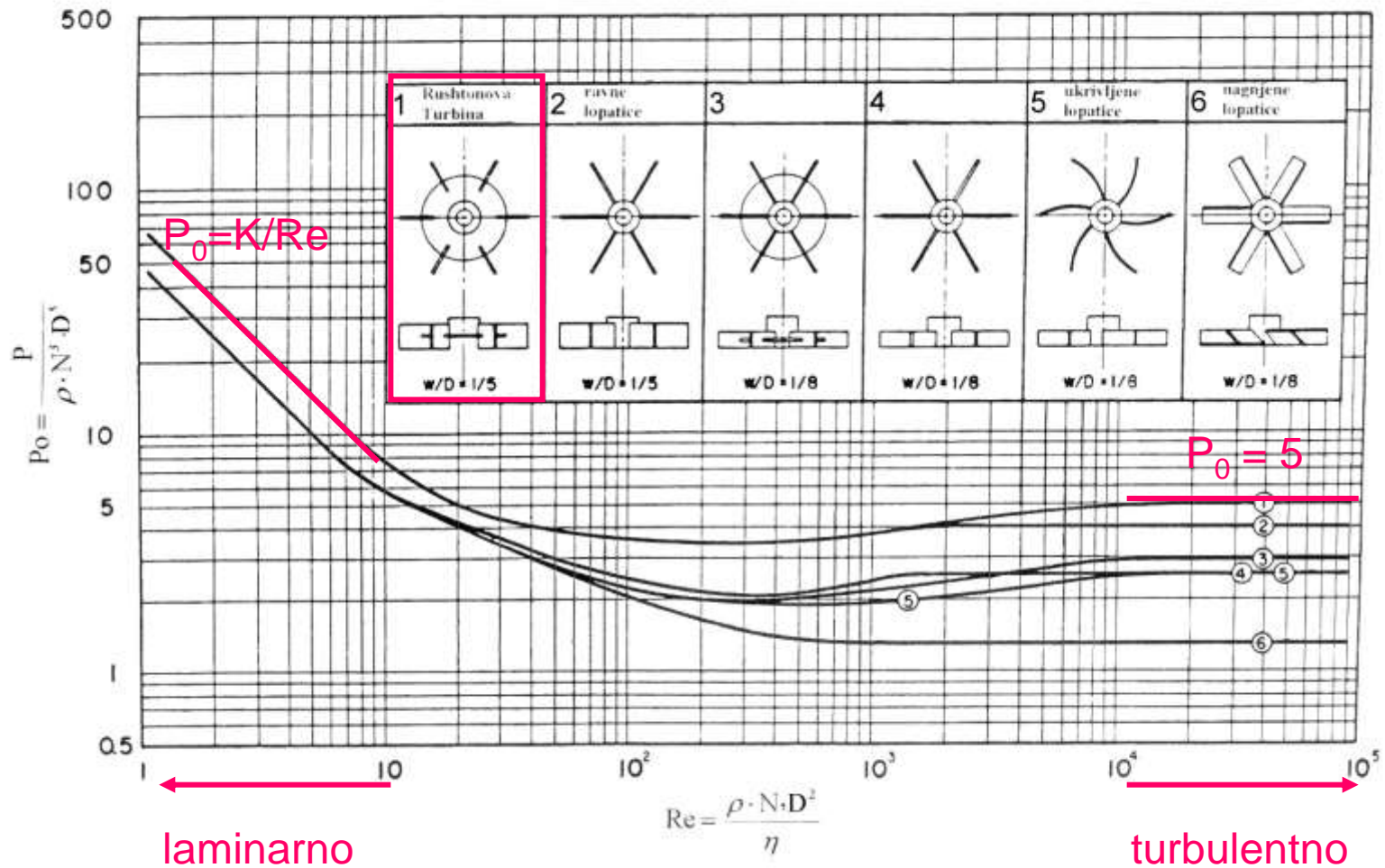
zanemarimo
PREGRADE

Webrovo število

sile vstrajnosti /
sile površinske napetosti

zanemarimo
ENOFAZNI SISTEM

FUNKCIJA MOČI $P_o = f(Re)$



$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta}$$

N vrtilna hitrost (s^{-1})

D premer mešala (m)

ρ gostota tekočine (kg/m^3)

η viskoznost (Pa.s)

Newtonske tekočine:

viskoznost ni odvisna od jakosti strižnega polja (pri mešanju – od vrtilne hitrosti, N)

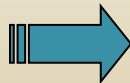
Ne newtonske tekočine:

viskoznost je odvisna od jakosti strižnega polja (pri mešanju – od vrtilne hitrosti, N)

Poznati je treba reološke lastnosti tekočine

η viskoznost = f (N)

določiti je treba odvisnost



viskoznost tekočine merimo
z viskozimetrom pri pogojih
enostavnega striga

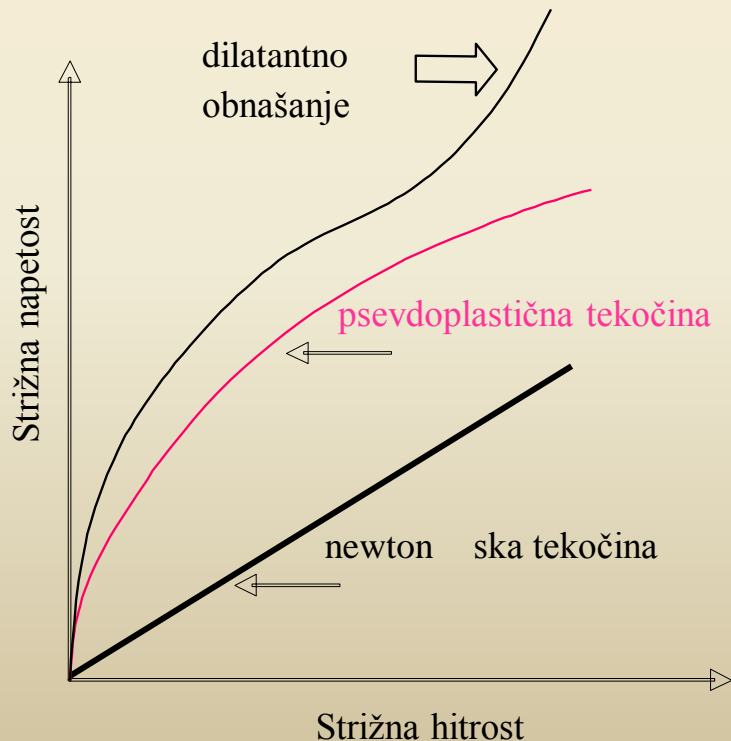
Idealna tekočina : newtonska tekočina

1678 *Newtonov zakon*:

Odpor tekočine proti toku je pri enostavnem strigu linearno sorazmeren hitrosti strižnega toka oziroma hitrosti strižne deformacije. Proporcionalnostni faktor je viskoznost (η).

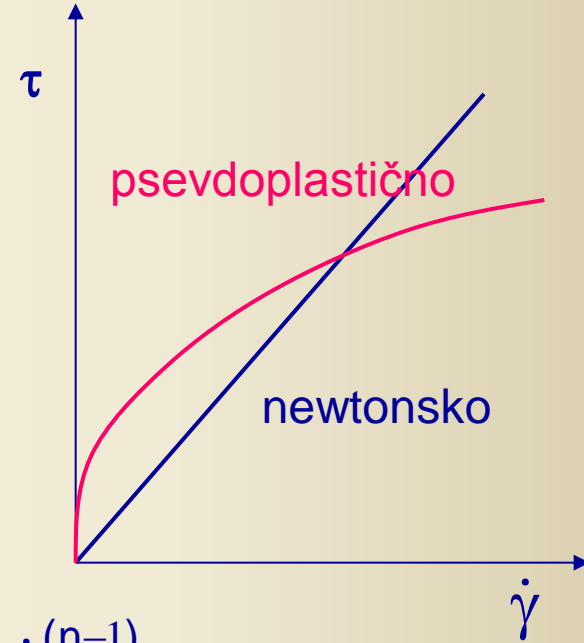
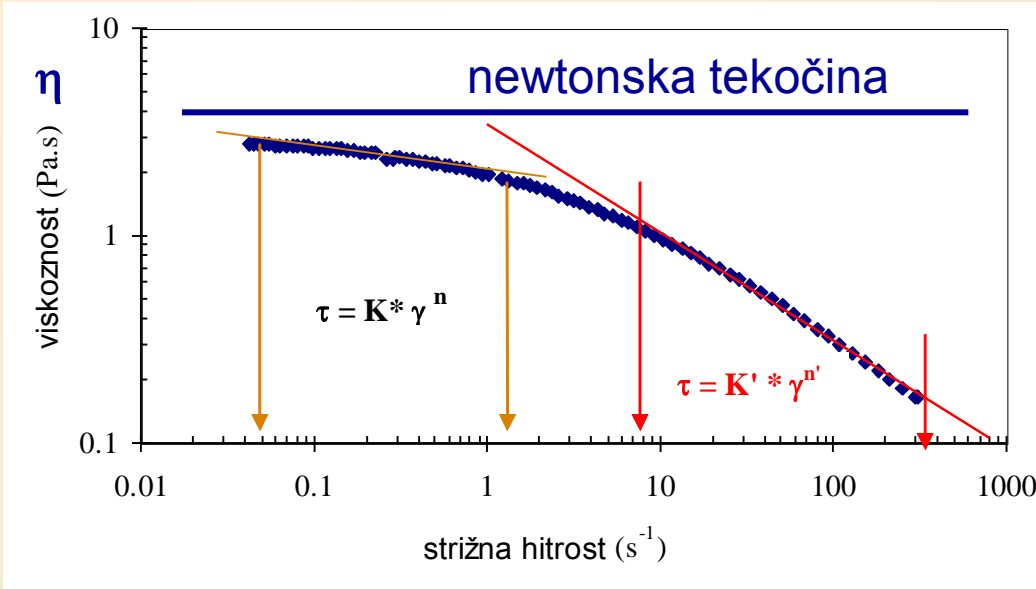
$$\tau = \eta \cdot \frac{d\gamma}{dt} = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

Realne tekočine : odziv na strižno silo ni linearen



Realne snovi se na vneseno strižno deformacijo ali na strižni tok različno odzivajo.

Izračun Reynoldsovega števila za primer pseudoplastične tekočine



Power law : $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \Rightarrow \tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \Rightarrow \eta = k \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)}$

Proces mešanja:

$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\eta}$$

$$Re = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{k \cdot (Ks \cdot N)^{n-1}}$$

Strižna hitrost v mešalniku: Otto – Meznerjevo pravilo

$$\dot{\gamma} = Ks \cdot N$$

Ks.... Strižna konstanta –odvisna od tipa mešala

$$\eta = k \cdot (Ks \cdot N)^{n-1}$$